

В диссертационный совет Д 24.2.327.04
в ФГБОУ ВО «Московский
авиационный институт (национальный
исследовательский университет)»
(МАИ)

Ученому секретарю дис. совета
д.т.н., доц. Скворцовой С.В.
125993, г. Москва, Волоколамское
шоссе, д. 4, А-80, ГСП-3, МАИ.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Чекаловой Елены Анатольевны** «Научные и технологические основы формирования на поверхности режущего инструмента и деталей дискретных диффузионных оксидных слоев для повышения их долговечности», представленной к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Одной из причин преждевременного разрушения покрытия является возникновение критических напряжений на границе раздела «покрытие – инструментальный материал» при термомеханическом нагружении контактных площадок инструмента. Эти напряжения зависят от разницы теплофизических и физико-механических свойств материалов износостойкого покрытия и инструмента, собственных микронапряжений инструментального материала после полной термообработки. Начальный этап разрушения покрытий наблюдается уже в период приработочного изнашивания инструмента, а интенсивность разрушения покрытия увеличивается с ростом термомеханических нагрузок. Поэтому чрезвычайно актуальным становится разработка новых научных и технологических подходов к решению проблемы повышения долговечности режущего инструмента за счёт увеличения запаса прочности, жесткости, а также снижению склонности режущей части инструмента к термопластической деформации в процессе резания, что и показано в работе. Автор предложил новый тип диффузионных покрытий с дискретной ячеистой структурой нестехиометрического состава, обладающих повышенной износостойкостью, в связи с этим тема диссертации является актуальной.

В работе сформулирована научная новизна, которая заключается в следующем:

1. Установлено, что при обработке током коронного разряда в диапазоне $I_k = 140-440$ мкА при температуре 20–25 °С на поверхности инструментальных и конструкционных материалов Р6М6, Р6М5К5, ВК10ХОМ, ВТЗ-1 происходит образование дискретных оксидных слоев

состава ($\text{Fe}_x\text{O}(x\sim 0,84-0,96)$, Fe_2O_3 ; Fe_3O_4 ; $\text{WO}_2(\delta)$; $\text{Co}_3\text{O}_4(\text{II},\text{III})$, $\text{CoO}(\text{II})$; $\text{WO}_{2,90}$; $\text{WO}_{2,72}$; TiO , Ti_2O).

2. Разработана физико-химическая модель формирования диффузионного дискретного оксидного слоя в зоне контакта металла с потоком образующейся холодной воздушной плазмы. На основе разработанной модели рассчитаны пороговый коэффициент активации коронного разряда начала протекания процесса ионизации и электрические параметры стационарного процесса формирования оксидного слоя. Показано, что плотность заряда и положительных ионов, осаждаемых на поверхности металла, должны соответствовать $\rho_i^+ \sim K_i^+ \cdot \rho_C = (1,23-12,3) \cdot 10^{-3} \text{ мг/м}^3$ и $n_i^+ \sim K_i^+ \cdot n_C = (2,547-25,47) \cdot 10^{16} \text{ 1/м}^3$, соответственно.

3. Разработана физическая модель, описывающая влияние дискретного и сплошного диффузионного оксидного слоя на долговечность и физико-механические свойства поверхностного слоя металлических материалов. На основании сопоставления упругой деформации, модуля упругости и коэффициента Пуассона показано, что при фиксированной относительной деформации образца наличие диффузионного дискретного оксидного слоя приводит к снижению растягивающих напряжений в прилегающем к этому слою металлу, изменению термофлуктуационного механизма разрушения нагруженных межатомных связей, приводящих к увеличению долговечности металла.

4. В качестве характеристики энергоемкости инструментального материала по отношению к износу предложена эффективная молярная энергия активации $U_{\text{Эф}}$. Установлена взаимосвязь между периодом стойкости режущего инструмента $T_{\text{СТ}}$, средней температурой его режущей кромки T и соответствующей им эффективной величиной молярной энергоемкости $U_{\text{Эф}}$ процесса износа.

5. Установлено влияние химического состава газовой среды и параметров коронного разряда на структуру оксидного слоя на поверхности подложки из обрабатываемого материала. Показано, что поликристаллическая структура со средним размером зерна около 4 мкм, содержащая промежуточные оксидные фазы ($\text{Fe}_x\text{O}(x\sim 0,84-0,96)$, Fe_2O_3 ; Fe_3O_4 ; $\text{WO}_2(\delta)$; $\text{Co}_3\text{O}_4(\text{II},\text{III})$, $\text{CoO}(\text{II})$; $\text{WO}_{2,90}$; $\text{WO}_{2,72}$; TiO , Ti_2O) нестехиометрического состава, формируется в дискретном слое толщиной 0,90-0,95 мкм, при этом тип оксидных фаз определяется разным процентным содержанием кислорода в потоке холодной плазмы.

6. Показано, что в процессе обработки резанием в результате нагрева инструмента из сплавов на основе железа происходит насыщение дискретного слоя оксидов кислородом и их переход в стабильную стехиометрическую фазу типа Fe_3O_4 . Этот процесс начинается с образования гематита, затем, по мере возрастания температуры нагрева инструмента и снижения концентрации

кислорода под слоем гематита образуется слой магнетита и ниже слой вюстита. Таким образом, чем выше температура, тем больше в окалине вюстита и меньше гематита. Указанная эволюция фазового состава дискретного оксидного слоя повышает эффективную величину молярной энергоемкости $U_{ЭФ}$ и, соответственно, повышает износостойкость режущих кромок.

7. Построена математическая модель для решения задачи по оптимизации параметров процесса нанесения локального диффузионного дискретного оксидного слоя. Модель основана на использовании мультипликативной экспоненциально-степенной функции, выражающей зависимость величины изнашивания задней поверхности режущей кромки пластины от тока коронного разряда, давления сжатого воздуха, угла наклона сопла к образцу и расстояния от сопла до образца.

8. Показано, что при поперечном точении стали 40Х резцом с твердосплавной пластиной IC50M применение дискретного оксидирования пластины вместо сплошного способствует снижению фаски износа на 23% (с 0,09 мм до 0,07 мм), а дискретное оксидирование твердосплавных фрез BK10ХОМ – снижению износа задней поверхности зуба на 40% (с 0,20 до 0,12 мм) при черновом фрезеровании титановых лопаток из сплава ВТ6.

Практическая значимость работы определяется следующим:

1. Разработана технология обработки режущего инструмента на воздухе то-ком коронного разряда при температуре 20–25 °С для создания на поверхности диффузионных дискретных оксидных слоев системы $Me-MeO-MeO-O_2$. Формирование таких слоев увеличивает долговечность инструмента из быстро-режущих материалов в 1,5–3 раза, из твердосплавных материалов в 1,8–2,5 раза и циклическую долговечность на 30–50% по сравнению со сплошным стехиометрическим покрытием.

2. Разработана установка для формирования дискретного оксидного слоя на режущем инструменте и деталях различных номенклатуры и типоразмеров, отличающаяся высокой производительностью, малым потреблением энергии и ресурсов и возможностью использования для различных типов производств.

3. Разработаны практические рекомендации по выбору режимов нанесения дискретного оксидного слоя на режущую кромку инструмента для получения не-обходимой структуры, обеспечивающей высокую износостойкость: сила тока 390–410 мкА, давление сжатого воздуха 0,2–0,25 МПа, время обработки инструмента из сплавов на основе железа 3 часа; а из твердых сплавов – 4 часа.

4. Разработан способ повышения долговечности лопаток компрессора авиационных ГТД путем восстановления геометрических размеров и износостойкого покрытия антивибрационных полок (патент №2586191).

5. Разработанный технологический процесс нанесения диффузионного дискретного оксидного слоя на режущий инструмент с помощью коронного разряда находится в стадии внедрения на АО «МПО им. И. Румянцева», АО «НПЦ газотурбостроения «Салют», АО «ММЗ», ПАО «АК Рубин», ООО «РИП», ООО «ИТМ» и на ООО ТД «КАЙЛАС», что подтверждено соответствующими актами.

Оригинальность предложенного типа оксидирования подтверждена патентами и актами. Таким образом, актуальность, научная новизна, практическая значимость и достоверность выполненных автором исследований не вызывает сомнений. Степень научной и практической апробации достаточна.

Содержание диссертации согласно тексту автореферата соответствует специальности 2.6.5 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы» по п.3., п.5 и п.6.

По автореферату имеются замечания:

1. Из текста автореферата не ясно что автор называет энергией активации и каким образом оценивалась ее величина?

2. При формировании оксидного покрытия в нем возникают напряжения. Однако, в автореферате не указан ни характер возникающих напряжений, ни их величина.

Указанные замечания не снижают значимости диссертации, которая выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет требованиям Положения ВАК РФ к докторским диссертациям, а ее автор, Чекалова Елена Анатольевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.5– Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Директор по развитию бизнеса и технологий, кандидат технических наук (специальность 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов)

Дриц Александр Михайлович

Почтовый адрес: 123112, Москва, Пресненская набережная, д. 10, блок Б.
Телефон: 8 (916) 642-82-73; e-mail: alexander.drits@arconic.com

Подпись Дрица Александра Михайловича заверяю  Д.С. Воронова

